



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2001326421 A**(43) Date of publication of application: **22.11.01**

(51) Int. Cl.

H01S 5/12
H01S 5/343
(21) Application number: **2000141250**(22) Date of filing: **15.05.00**(71) Applicant: **FUJITSU LTD**(72) Inventor: **HATORI NOBUAKI**(54) **SEMICONDUCTOR LASER DEVICE**

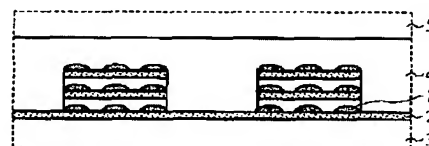
(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To achieve a low-threshold current I_{th} , high-characteristic temperature operation, and high-speed operation by reducing a leakage current caused by carriers passing through a periodic gain region.

SOLUTION: A quantum dot 1 is periodically provided for giving wavelength selectivity, and at the same time a quantum well layer 2 is provided at a region without at least the quantum dot 1, and is physically or electrically brought into contact at least partially with the region having the quantum dot 1.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

本発明の原理的構成の説明図



- 1: 量子ドット
- 2: 量子井戸層
- 3: 分離閉じ込め層
- 4: 分離閉じ込め層
- 5: クラッド層

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-326421

(P2001-326421A)

(43) 公開日 平成13年11月22日 (2001. 11. 22)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テ-マ-ド* (参考)

H 0 1 S 5/12
5/343

H 0 1 S 5/12
5/343

5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2000-141250 (P2000-141250)

(22) 出願日 平成12年 5 月15日 (2000. 5. 15)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番
1 号

(72) 発明者 羽鳥 伸明

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番
1 号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100105337

弁理士 眞鍋 潔 (外 3 名)

Fターム (参考) 5F073 AA45 AA64 AA73 AA75 CA07
DA05 DA23 DA35 EA23

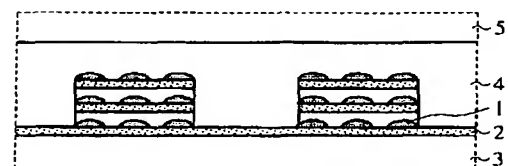
(54) 【発明の名称】 半導体レーザ装置

(57) 【要約】

【課題】 半導体レーザ装置に関し、周期的利得領域の間を通るキャリアによる漏れ電流を低減させて、低しきい値電流 I_{th} 、高特性温度動作化、高速動作を実現する。

【解決手段】 量子ドット 1 を周期的に設けて波長選択性を持たせるとともに、少なくとも量子ドット 1 が設けられていない領域に量子井戸層 2 を設け、量子井戸層 2 を、量子ドット 1 を設けた領域と少なくとも一部で物理的または電気的に接触させる。

本発明の原理的構成の説明図



- 1: 量子ドット
- 2: 量子井戸層
- 3: 分離閉じ込め層
- 4: 分離閉じ込め層
- 5: クラッド層

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 量子ドットを活性層に用いた半導体レーザ装置において、量子ドットを周期的に設けて波長選択性を持たせるとともに、少なくとも前記量子ドットが設けられていない領域に量子井戸層を設け、前記量子井戸層が、前記量子ドットを設けた領域と少なくとも一部で物理的または電氣的に接触していることを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項 2】 上記量子ドットは、自己形成的に形成された量子ドットであることを特徴とする請求項 1 記載の半導体レーザ装置。

【請求項 3】 上記量子井戸層が、上記量子ドットと同時に形成される濡れ層であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の半導体レーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は半導体レーザ装置に関し、特に、量子ドット構造を有する利得結合型の分布帰還型半導体レーザ装置における漏れ電流を低減するための構成に特徴がある半導体レーザ装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体レーザの単一モード動作を目的とした構造の一つに、構造内に光の管内波長の $1/2$ の自然倍数と同程度の周期的な起伏をもたせた分布帰還型 (DFB) 半導体レーザがあり、この分布帰還型半導体レーザはさらに、屈折率を分布させるか或いは活性層を分布させるかにより、屈折率結合型と利得結合型とに分類される。

【0003】この内、屈折率結合型分布帰還型半導体レーザにおいては優れた波長選択性が実現されており、一方、利得結合型分布帰還型半導体レーザにおいても同等もしくはそれ以上の性能を示すものと考えられている。なお、これらの分布帰還型半導体レーザにおける活性層としては、通常多重量子井戸構造が採用されている。

【0004】一方、近年の半導体プロセスの進歩に伴い、ナノスケールの成長技術・微細加工技術が半導体装置の作製に利用されるようになり、このナノスケールの成長技術・微細加工技術によって、量子力学的効果を利用した歪量子井戸半導体レーザ等が実用化されている。

【0005】このような量子力学的効果を利用した一次元量子井戸構造半導体レーザにおいても、多くの電子が移動するために生ずる発熱に起因する発振しきい値、しきい値の温度特性、或いは、変調特性の改善の限界が指摘されており、この限界を解決するための方法の一つとして量子力学的効果を利用した究極の構造として 3 次元量子井戸構造である量子箱 (QWB: Quantum Well Box)、即ち、量子ドットの採用が提案されており、それによって、半導体レーザの性能向上が見込まれている。

【0006】このような量子ドットを簡単な工程によって形成する技術として、量子ドットを自己形成させる方法が見いだされ、具体的には、格子不整合の半導体がある条件で気相エピタキシャル成長させることにより 3 次元の微細構造、即ち、量子ドット構造を自己形成する方法が提案されている。

【0007】この自己形成方法は、実施するのが容易であり、しかも人為的に加工する場合に比べて、極めて均一性が高く、且つ、高個数密度で、高品質の半導体量子ドットが得られるものであり、例えば、この自己形成量子ドットを用いた半導体レーザが実際に報告されるようになり、半導体量子ドット素子の可能性が現実のものとなりつつある (必要ならば、特開平 9-326506 号公報参照)。

【0008】そこで、このような自己形成した量子ドットを利用した利得結合型の DFB (分布帰還) 型半導体レーザに転用してしきい値電流、しきい値電流の温度特性、及び、変調特性を改善することが考えられるので、図 5 を参照して量子ドットを利用した DFB 型半導体レーザの一例を説明する。

図 5 (a) 参照

図 5 (a) は、量子ドットを利用した DFB 型半導体レーザの概略的断面図であり、n 型 GaAs 基板 31 上に、n 型 AlGaAs クラッド層 32、i 型 GaAs SCH 層 33 を順次堆積させたのち、周期的利得領域 34 を形成し、次いで、再び、i 型 GaAs SCH 層 35、p 型 AlGaAs クラッド層 36、及び、p 型 GaAs コンタクト層 37 を順次堆積させたものである。

【0009】図 5 (b) 参照

図 5 (b) は、図 5 (a) における破線の円内の概略的拡大図であり、周期的利得領域 34 は、InGaAs 濡れ層 38 上に自己形成された InGaAs 量子ドット 39、及び、i 型 GaAs カバー層 40 からなる積層体を複数層形成したのち、干渉露光法を用いて周期的パターンを形成したレジストマスクを利用してパターンニングしたものである。

【0010】次に、図 6 及び図 7 を参照して、InGaAs 量子ドットを形成するための自己形成方法を説明する。まず、図 6 を参照して、Stran'ski-Krastanov (ストランスキー-クラスタノフ) モードの量子ドットの形成過程を説明する。

図 6 (a) 参照

まず、GaAs 基板 (図示せず) 上に、MOVPE 法 (有機金属気相成長法) を用いて、TEGa (トリエチルガリウム) 及び AsH₃ を供給することによって厚さ 500 nm (=0.5 μm) の GaAs バッファ層 41 を形成したのち、基板温度を 500℃ とした状態で、AsH₃ 42、TMIn (トリメチルインジウム) 43、及び、TMGa (トリメチルガリウム) 44 を同時供給すると、成長開始当初は InGaAs 成長層が格子不整

合に基づく弾性限界を越えないので 2 次元的に成長が行われ、InGaAs 濡れ層 (wetting layer) 45 が成長する。

【0011】図 6 (b) 参照

成長を続けると、InGaAs 濡れ層 45 の厚さが弾性限界を越えた時点で、InGaAs 濡れ層 45 の表面に量子ドットを形成するための成長核となるオングストロームオーダーの 3 次元核 46 が離散的に形成される。

【0012】図 6 (c) 参照

さらに、成長を続けると、3 次元核 46 を成長核として In 組成比が相対的に大きなナノメートルオーダーの InGaAs 量子ドット 47 が形成され、InGaAs 量子ドット 47 の周辺部は In 組成比が相対的に小さな InGaAs 濡れ層 45 となる。

【0013】これは、InGaAs 濡れ層 45 の厚さが弾性限界を越える場合、In 組成比が相対的に大きな InGaAs 量子ドット 47 を局所的に発生させることによって InGaAs 成長層全体としては InGaAs 成長層の全面に歪が発生する場合よりも低歪エネルギーとなり、結晶学的に安定した成長になるためと考えられる。

【0014】次に、図 7 を参照して、従来の原料交互供給法による量子ドットの形成過程を説明する。

図 7 (a) 参照

まず、GaAs 基板 (図示せず) 上に、MOVPE 法を用いて、TEGa 及び AsH₃ を供給して、厚さが、例えば、0.5 μm の GaAs バッファ層 51 を形成したのち、成長温度を 500℃ とした状態で TMIn 53 及び AsH₃ 52 を InAs 換算で 1ML (モノレーヤ) 分だけ同時供給する。この成長開始当初においては、2 次元的成長が起こり InGaAs 濡れ層 54 が形成される。

【0015】図 7 (b) 参照

この InGaAs 濡れ層 54 の膜厚が弾性限界を越えた時点で、InGaAs 濡れ層 54 の表面にオングストロームオーダーの 3 次元核 55 が比較的高密度で形成される。なお、ここまでは、Stranaski-Krastanov モードで成長が行われる。

【0016】図 7 (c) 参照

次いで、同じく基板温度を 500℃ とした状態で、まず、TMIDMEA [トリメチルインジウムジメチルエチルアミンダクト: Trimethylindium-dimethylamine adduct、分子式: In(CH₃)₃N(CH₃)₂(C₂H₅)] 56 を供給したのち、TMGa 57 を供給する。この時点において、3 次元核 55 を核として In と Ga が付着して In+Ga からなる金属島 58 が形成される。

【0017】図 7 (d) 参照

次いで、同じく基板温度を 500℃ とした状態で、AsH₃ 52 を供給することによって、表面において再構成

が起こり、金属島 58 の部分に In 組成比が相対的に大きな InGaAs 量子ドット 59 が形成され、InGaAs 量子ドット 59 の周囲及び表面を覆うように In 組成比が相対的に小さな InGaAs 層 60 が形成され、InGaAs 量子ドット 59 が InGaAs 層 60 の中に埋め込まれた状態となる。この様な、交互供給サイクルを 10 サイクル繰り返すことによって多層の量子ドット構造が得られる。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来の量子ドットを用いた利得結合型の DFB 型半導体レーザにおいては、図 5 (b) において矢印 A で示す、周期的利得領域 34 を通るキャリアはレーザ発振に寄与するものの、図 5 (b) において矢印 B で示す、周期的利得領域 34 の間を通るキャリアは漏れ電流となってレーザ発振に寄与しないので、この漏れ電流がレーザ特性を低下させる原因となる。

【0019】したがって、本発明は、周期的利得領域の間を通るキャリアによる漏れ電流を低減させて、低い値電流 I_{th}、高特性温度動作化、高速動作を実現することを目的とする。

【0020】

【課題を解決するための手段】図 1 は本発明の原理的構成の説明図であり、この図 1 を参照して本発明における課題を解決するための手段を説明する。なお、図 1 は、活性層近傍の概略的要部断面図である。

図 1 参照

(1) 本発明は、量子ドット 1 を活性層に用いた半導体レーザ装置において、量子ドット 1 を周期的に設けて波長選択性を持たせるとともに、少なくとも量子ドット 1 が設けられていない領域に量子井戸層 2 を設け、量子井戸層 2 が、量子ドット 1 を設けた領域と少なくとも一部で物理的または電気的に接触していることを特徴とする。

【0021】この様に、量子ドット 1 を周期的に設けて形成した周期的利得領域の間に量子井戸層 2 を設けることによって、周期的利得領域の間を通るキャリアを量子井戸層 2 で捕獲することができ、それによって、無効電流となる漏れ電流を大幅に低減することができる。なお、この場合、量子井戸層 2 は量子ドット 1 に物理的に接触している必要は必ずしも無く、キャリアのトンネルが可能な程度離れた状態である電気的に接触した状態であっても良い。

【0022】(2) また、本発明は、上記 (1) において、量子ドット 1 は、自己形成的に形成された量子ドット 1 であることを特徴とする。

【0023】この様に、量子ドット 1 として、フォトリソグラフィ工程によって形成した量子ドット 1 ではなく、自己形成的に形成された量子ドット 1 を用いることによって、量子ドット 1 の密度を高めることができ、そ

れによって、高出力化が可能になる。

【0024】(3) また、本発明は、上記(1)または(2)において、量子井戸層2が、量子ドット1と同時に形成される濡れ層であることを特徴とする。

【0025】この様に、量子井戸層2としては、量子ドット1の自己形成に伴って付随して形成される濡れ層(ウェットティング層)を用いれば、特に工程を工夫すること無く量子井戸層2を量子ドット1に物理的に接触させることができる。

【0026】また、本発明は、上記(1)乃至(3)のいずれかにおいて、量子ドット1を光の伝搬方向に対して管内波長の $1/2$ の自然整数倍と同程度の周期で配置したことを特徴とする。即ち、量子ドット1の群を、 $(\lambda/2) \cdot n$ (但し、 λ は管内波長、 n は自然整数)とすることによって、利得結合型のDFB型半導体レーザを構成することができる。

【0027】また、本発明は、上記(1)乃至(3)のいずれかにおいて、量子井戸層2の基底準位間のエネルギーギャップが、量子ドット1の基底準位間のエネルギーギャップより大きく、且つ、分離閉じ込め層3、4のバンドギャップエネルギーより小さいことを特徴とする。この様なエネルギー関係にすることによって、量子ドット1を設けていない領域における分離閉じ込め(SCH: Separate Confinement Heterostructure)層3、4と通るキャリアを量子井戸層2に導くとともに、量子ドット1において再結合発光させることができる。

【0028】また、本発明は、上記(1)乃至(3)のいずれかにおいて、量子ドット1が、クラッド層に設けた周期的凹凸状のストライプ状溝の底部と頂部とに設けられた量子ドット1であることを特徴とする。

【0029】この様に{111}B面を主面とし、周期的凹凸状のストライプ状溝の延在方向を[0-11]方向にすることによって、量子ドット1を周期的凹凸状のストライプ状溝の底部と頂部とに選択的に形成することができ、量子ドット1の形成後に周期的構造を形成するためのエッチング工程が不要になる。したがって、量子井戸層2となる濡れ層が前記エッチング工程中に誤って消失することがなく、量子ドット1からなる周期的利得領域及び量子井戸層2を容易に形成することができる。特に、量子ドット1を複数層積層させる場合、全ての濡れ層を量子井戸層2として有効に用いることができる。

【0030】

【発明の実施の形態】ここで、図2及び図3を参照して、本発明の実施の形態の製造工程を説明するが、n型GaAs基板及びn型AlGaAsクラッド層については図3(d)を参照して説明する。

図2(a)参照

まず、n型GaAs基板11上に、MOVPE法を用いて、厚さが、例えば、1400nmのn型Al_{0.4}Ga

0.6Asクラッド層12(いずれも、ここでは図示を省略)、及び、厚さが、例えば、110nmのi型GaAsSCH層13を成長させる。

【0031】次いで、成長温度を500℃とした状態でTMIn及びAsH₃をInAs換算で1ML(モノレイヤー)分だけ同時供給する。この成長開始当初においては、図7に示したように、2次元的成長が起こりInGaAs濡れ層が形成され、このInGaAs濡れ層の膜厚が弾性限界を越えた時点で、InGaAs濡れ層の表面にオングストロームオーダーの3次元核が比較的高密度で形成される。なお、3次元核が発生しだす厚さのInGaAs濡れ層が、InGaAs量子井戸層14となる。

【0032】次いで、同じく基板温度を500℃とした状態で、まず、TMIDMEAを供給したのち、TMGaを供給すると、3次元核を核としてInとGaが付着してIn+Gaからなる金属島が形成される。

【0033】次いで、同じく基板温度を500℃とした状態で、AsH₃を供給することによって、表面において再構成が起こり、金属島の部分にIn組成比が相対的に大きなInGaAs量子ドット15が形成される。

【0034】ついで、i型GaAsカバー層16を形成したのち、この様な交互供給サイクルを10サイクル(図においては、3サイクル分を図示している)繰り返すことによって量子ドット活性層を形成する。

【0035】図2(b)参照

次いで、干渉露光法によって形成した周期的なレジストパターン(図示せず)をマスクとして最下層のInGaAs量子井戸層14のみを残すようにドライエッチングを施すことによって、周期的利得領域17を形成する。なお、この場合の周期的利得領域17の周期が、管内波長の $1/2$ の自然整数倍になるようにレジストパターンを形成する。

【0036】図2(c)参照

次いで、再び、MOVPE法を用いて、TEGa及びAsH₃を供給して、厚さが、例えば、200nmのi型GaAsSCH層18を形成して、周期的利得領域の間をi型GaAs層で埋め込む。

【0037】図3(d)参照

引き続き、MOVPE法によって、厚さが、例えば、1400nmのp型Al_{0.4}Ga_{0.6}Asクラッド層19、及び、厚さが、例えば、400nmのp型GaAsコンタクト層20を順次成長させる。なお、図3(d)における破線で示す円内は、図2(c)に示した状態になっている。

【0038】以降は、図示しないものの、n型GaAs基板11の裏面にn側電極を設けると共に、p型GaAsコンタクト層20上にp側電極を設けることによって量子ドットを有する利得結合型のDFB型半導体レーザが完成する。

【0039】この様に、本発明の第1の実施の形態の形態においては、量子ドットを有する利得結合型のDFB型半導体レーザを形成する際に、最下層のInGaAs濡れ層を残してInGaAs量子井戸層14としているので、周期的利得領域17の間を通るキャリアはi型GaAsSCH層13、18のバンドギャップエネルギーより小さな基底準位間のギャップエネルギーのInGaAs量子井戸層14に捕獲される。

【0040】捕獲されたキャリアはInGaAs量子井戸層14に沿って移動して、周期的利得領域17においてInGaAs量子ドット15に注入されて再結合発光することになる。したがって、周期的利得領域17の間を通るキャリアはレーザ発振に寄与することになるので、無効電流は低減し、それによって、しきい値電流 I_{th} の小さな、単一モード動作、高特製温度動作、高速動作が可能な半導体レーザを実現することが可能になる。

【0041】次に、図4を参照して、本発明の第2の実施の形態の量子ドットを用いた利得分布型のDFB型半導体レーザを説明する。

図4参照

図4は、量子ドットを用いた利得分布型のDFB型半導体レーザの活性層近傍の概略的要部断面図であり、まず、(111)B面を主面とするn型GaAs基板(図示せず)上に、n型AlGaAsクラッド層(図示せず)を成長させたのち、ストライプ方向が〈0-11〉方向となる周期的なラインアンドスペースのレジストパターン(図示せず)を設け、 $NH_4OH:H_2O_2:H_2O=1:1:20$ のエッチャントを用いて、例えば、10℃においてエッチングを施すことによって周期的な凹凸を形成する(必要ならば、T. Saitoh, et al., Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 35, No. 2B, pp. 1370-1374, 1996参照)。なお、この場合、周期的凹凸の周期が管内波長の1/2の自然整数倍になるようにするとともに、周期的凹凸の頂部と底部とに平坦面が形成されるようにエッチング時間を制御する。

【0042】次いで、表面にi型GaAsSCH層21を形成したのち、上記の第1の実施の形態と同様の量子ドットの形成方法を行うことによって、InGaAs濡れ層からなるInGaAs量子井戸層22及びInGaAs量子ドット23を形成し、i型GaAsカバー層24を介して繰り返しInGaAs量子ドット23(図においては2サイクル分示している)を形成する。

【0043】この場合、i型GaAsSCH層21の表面は、n型AlGaAsクラッド層に形成した周期的凹凸の形状をほぼそのまま反映した形状となり、周期的凹凸の頂部と底部は(111)B面となり、側面は異なった面で構成されるので、頂部と凹部の平坦面にのみInGaAs量子ドット23が選択的に形成される。

【0044】以降は、i型GaAsSCH層25、p型AlGaAsクラッド層及びp型GaAsコンタクト層(いずれも図示せず)を順次成長させることによって半導体レーザの基本的構成が完成する。

【0045】この様に、本発明の第2の実施の形態においては、n型AlGaAsクラッド層に周期的凹凸を形成することによって量子ドットを選択的に形成することができ、したがって、量子ドットを形成したのちにエッチング工程を必要としないので、全てのInGaAs濡れ層をInGaAs量子井戸層14として利用することができ、それによって、無効電流をより低減することが可能になる。

【0046】以上、本発明の各実施の形態を説明してきたが、本発明は各実施の形態に記載した構成・条件に限られるものではなく、各種の変更が可能である。例えば、量子ドットを形成する際に、原料の交互供給法を用いているが、原料を同時供給して、通常のStran-ski-Krastanovモードで形成しても良いのである。

20 【0047】また、上記の各実施の形態においては、最下層の濡れ層を残して量子井戸層としているが、周期的利得領域を形成する際に、周期的利得領域間の濡れ層を全て除去し、周期的利得領域間を埋め込む際に新たに量子井戸層を形成しても良いものである。なお、この場合、量子井戸層は量子ドットと必ずしも物理的に接触している必要はなく、キャリアがトンネルできる程度に離れた電氣的に接触している状態でも良い。

【0048】

30 【発明の効果】本発明によれば、量子ドットを用いて利得結合型の分布帰還型半導体レーザを構成する際に、周期的利得領域の間を量子井戸層で物理的或いは電氣的に結合しているので、周期的利得領域の間を流れるキャリアをレーザ発振に寄与させることが可能になり、それによって、無効電流を低減することができ、ひいては、半導体レーザ装置の性能向上に寄与するところが大きい。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理的構成の説明図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態の途中までの製造工程の説明図である。

40 【図3】本発明の第1の実施の形態の図2以降の製造工程の説明図である。

【図4】本発明の第2の実施の形態の量子ドットを用いたDFB型半導体レーザの概略的要部断面図である。

【図5】従来の量子ドットを用いたDFB型半導体レーザの説明図である。

【図6】Stran-ski-Krastanovモードによる半導体量子ドットの形成過程の説明図である。

【図7】従来の原料交互供給法による半導体量子ドットの形成過程の説明図である。

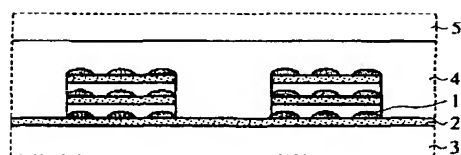
50 【符号の説明】

9

- 1 量子ドット
- 2 量子井戸層
- 3 分離閉じ込め層
- 4 分離閉じ込め層
- 5 クラッド層
- 11 n型GaAs基板
- 12 n型Al_{0.4}Ga_{0.6}Asクラッド層
- 13 i型GaAsSCH層
- 14 InGaAs量子井戸層
- 15 InGaAs量子ドット
- 16 i型GaAsカバー層
- 17 周期的利得領域
- 18 i型GaAsSCH層
- 19 p型Al_{0.4}Ga_{0.6}Asクラッド層
- 20 p型GaAsコンタクト層
- 21 i型GaAsSCH層
- 22 InGaAs量子井戸層
- 23 InGaAs量子ドット
- 24 i型GaAsカバー層
- 25 i型GaAsSCH層
- 31 n型GaAs基板
- 32 n型AlGaAsクラッド層
- 33 i型GaAsSCH層
- 34 周期的利得領域

【図1】

本発明の原理的構成の説明図



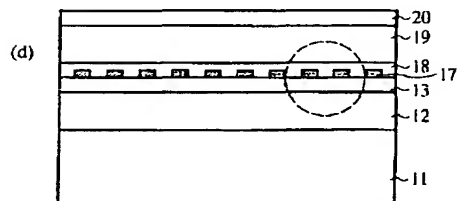
- 1: 量子ドット
- 2: 量子井戸層
- 3: 分離閉じ込め層
- 4: 分離閉じ込め層
- 5: クラッド層

10

- 35 i型GaAsSCH層
- 36 p型AlGaAsクラッド層
- 37 p型GaAsコンタクト層
- 38 InGaAs濡れ層
- 39 InGaAs量子ドット
- 40 i型GaAsカバー層
- 41 GaAsバッファ層
- 42 AsH₃
- 43 TMIn
- 10 44 TMGa
- 45 InGaAs濡れ層
- 46 3次元核
- 47 InGaAs量子ドット
- 51 GaAsバッファ層
- 52 AsH₃
- 53 TMIn
- 54 InGaAs濡れ層
- 55 3次元核
- 56 TMIDMEA
- 20 57 TMGa
- 58 金属島
- 59 InGaAs量子ドット
- 60 InGaAs層

【図3】

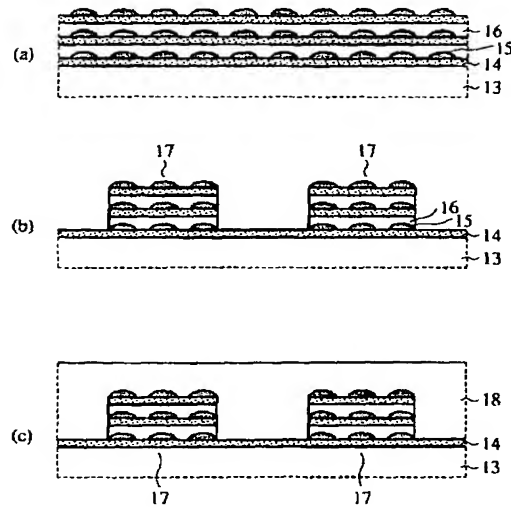
本発明の第1の実施の形態の図2以降の製造工程の説明図



- 11: n型GaAs基板
- 12: n型Al_{0.4}Ga_{0.6}Asクラッド層
- 13: i型GaAsSCH層
- 17: 周期的利得領域
- 18: i型GaAsSCH層
- 19: p型Al_{0.4}Ga_{0.6}Asクラッド層
- 20: p型GaAsコンタクト層

【図2】

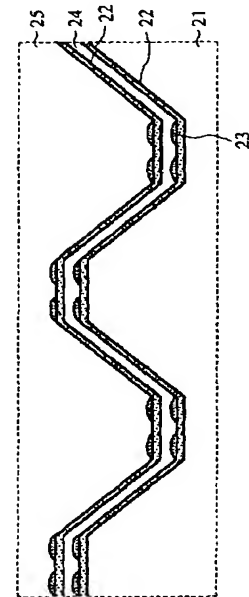
本発明の第1の実施の形態の途中までの
製造工程の説明図



- 13: i型GaAsSCH層 16: i型GaAsカバー層
14: InGaAs量子井戸層 17: 周期的利得領域
15: InGaAs量子ドット 18: i型GaAsSCH層

【図4】

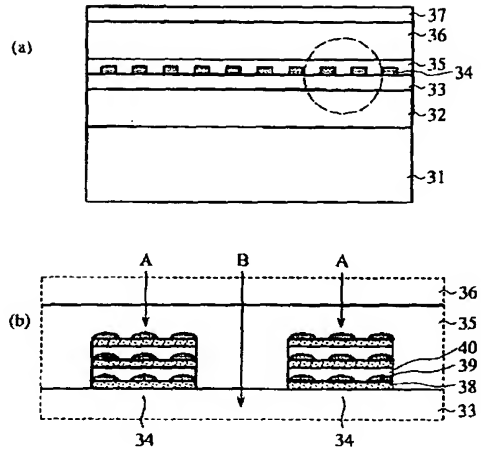
本発明の第2の実施の形態の量子ドットを用いた
DFB型半導体レーザの概略的要部断面図



- 21: i型GaAsSCH層 22: InGaAs量子井戸層 23: InGaAs量子ドット
24: i型GaAsカバー層 25: i型GaAsSCH層

【図5】

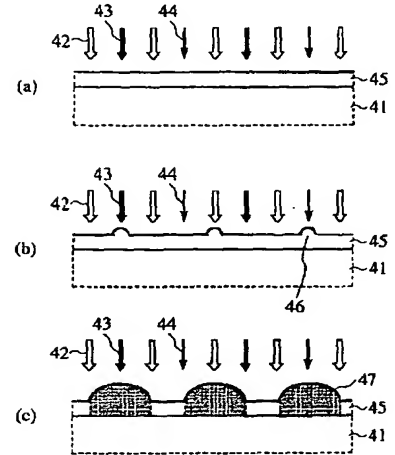
従来の量子ドットを用いた
DFB型半導体レーザの説明図



- | | |
|-------------------|-------------------|
| 31: n型GaAs基板 | 36: p型AlGaAsクラッド層 |
| 32: n型AlGaAsクラッド層 | 37: p型GaAsコンタクト層 |
| 33: i型GaAsSCH層 | 38: InGaAs濡れ層 |
| 34: 周期的利得領域 | 39: InGaAs量子ドット |
| 35: i型GaAsSCH層 | 40: i型GaAsカバー層 |

【図6】

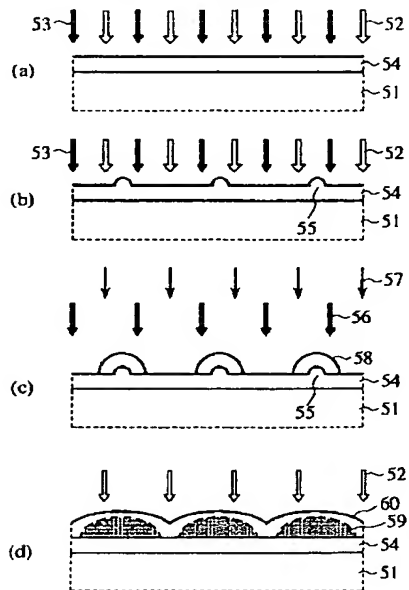
Stranski-Krastanovモードによる
半導体量子ドットの形成過程の説明図



- | | |
|----------------------|-----------------|
| 41: GaAsバッファ層 | 45: InGaAs濡れ層 |
| 42: AsH ₃ | 46: 3次元核 |
| 43: TMIIn | 47: InGaAs量子ドット |
| 44: TMGa | |

【図 7】

従来の原料交互供給法による半導体量子ドットの
形成過程の説明図



| | |
|-----------------------|------------------|
| 51 : GaAs/バッファ層 | 56 : TMIDMEA |
| 52 : AsH ₃ | 57 : TMGa |
| 53 : TMIn | 58 : 金属島 |
| 54 : InGaAs濡れ層 | 59 : InGaAs量子ドット |
| 55 : 3次元核 | 60 : InGaAs層 |